不同加工方式玉米粉对6月龄伊犁马消化代谢、血浆生化指标及生长发育的影响

杨景焘　赵　芳　邓海峰　李晓斌　杨开伦*

（新疆农业大学动物科学学院，新疆肉乳用草食动物营养实验室，乌鲁木齐 830052）

摘　要:本试验旨在研究不同加工方式玉米粉对6月龄伊犁马消化代谢、血浆生化指标及生长发育的影响，为蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉在马饲粮中的应用提供参考。本试验选取平均体重为（105.10±11.83） kg、健康状况良好的6月龄伊犁公马20匹，按体重相近原则，随机分为4组，每组5匹。每天每匹马饲喂0.3 kg粉状浓缩料和3.5 kg苜蓿干草，在此基础上对照组、试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验Ⅲ组每天每匹再分别饲喂0.3 kg粉碎玉米粉、0.3 kg粉碎玉米粉+1 g α-淀粉酶、0.3 kg蒸汽压片玉米粉、0.3 kg膨化玉米粉，进行为期20 d的消化代谢试验，其中预试期13 d，正试期7 d。结果表明：试验Ⅲ组干物质、有机物、粗蛋白质、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维消化量以及中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维消化率显著高于对照组（P＜0.05）；试验Ⅲ组氮、钙、磷沉积率显著高于对照组、试验Ⅰ组（P＜0.05）；试验Ⅲ组消化能、代谢能显著高于对照组、试验Ⅰ组（P＜0.05），而对照组、试验Ⅰ组、试验Ⅱ组之间差异不显著（P＞0.05）；试验Ⅲ组试验期间增重和平均日增重均高于其他各组，但各组间差异不显著（P＞0.05）；就体斜长增加而言，试验Ⅲ组显著高于其他组（P＜0.05）；试验Ⅱ组胸围增加显著高于其他3组（P＜0.05）；各组间血浆生化指标差异不显著（P>0.05）。由此得出，饲喂膨化玉米粉可提高饲粮中营养物质的表观消化率及能量代谢，并促进马的生长发育；而饲喂含酶制剂的粉碎玉米粉或蒸汽压片玉米粉对6月龄伊犁马的营养物质表观消化率及生长发育无显著促进作用。

关键词：玉米粉；加工方式；6月龄伊犁马；消化代谢；血浆生化指标；生长发育

收稿日期：2016-02-22

基金项目：“十二五”农村领域国家科技计划课题(2012BAD45B01)

作者简介：杨景焘（1988-），男，黑龙江宝清人，硕士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail： 937317612@qq.com

*通信作者：杨开伦，教授，博士生导师，E-mail： yangkailun2002@aliyun.com

中图分类号：S816　　　　　　　　文献标识码：A　　　　　　　　文章编号：

玉米是世界上产量最高，且增产潜力较大的禾本科谷物类粮食作物[1]，也是畜禽饲料中主要的能量来源，在配方中的比例可达 2/3 以上。因此，提高饲粮中玉米的消化率是提高饲粮转化效率的关键。由于玉米中淀粉在有水的条件下加热会破坏其结晶结构，形成 α-淀粉，这种构型的淀粉，其颗粒分子间的氢键被破坏，使其更容易被酶分解[2]；另外，加工过程改变玉米中淀粉的空间结构，使淀粉颗粒更容易暴露，大大增加了与酶接触的机会，因此蒸汽压片和膨化处理可增加玉米的利用率，减低饲料的浪费。王潇等[3]在断奶仔猪饲粮中分别添加 20%、40%、60%的膨化玉米粉，结果表明，随膨化玉米粉添加量的增加，饲粮中的营养物质消化率呈增加趋势。Guyton 等[4]证实用蒸汽压片玉米粉饲喂舍饲牛可降低排粪量和排尿量，粪氮和尿氮浓度增加，但是总排出氨量减少。目前有关蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉在马的饲粮中尚未有使用的报道，鉴于此，本试验通过研究蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉对 6 月龄伊犁马消化代谢、血液生化指标及生长发育的影响，旨在探究提高马饲粮中营养物质消化率的可能性。

1　材料与方法

1.1　试验时间及地点

试验时间：2014 年 9 月 25 日至 2014 年 10 月 15 日；试验地点：新疆伊犁哈萨克自治州昭苏军马场。

1.2　试验设计

本试验选取平均体重为（105.10±11.83） kg、健康状况良好的 6 月龄伊犁公马 20 匹，按体重相近原则随机分为 4 组，分别为对照组、试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验Ⅲ组，每组 5 匹。各组马匹每天每匹饲喂 0.3 kg 粉状浓缩料和 3.5 kg 苜蓿干草（昭苏县本地苜蓿干草，切短至长度为 5 cm 后饲喂），在此基础上，对照组、试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验Ⅲ组马匹每天每匹再分别饲喂 0.3 kg 粉碎玉米粉（购自新疆伊犁天康饲料有限公司）、0.3 kg 粉碎玉米粉

+1 g α-淀粉酶（购自沧州市中信生物科技有限公司，活力为 4 000 U/g）、0.3 kg 蒸汽压片玉米粉（购自山东德陵饲料原料厂）、0.3 kg 膨化玉米粉（购自秦皇岛金旭饲料厂），进行为期 20 d 的消化代谢试验，其中预试期 13 d，正试期 7 d。粉状浓缩料组成及营养水平见表 1，苜蓿干草、粉碎玉米粉、蒸汽压片玉米粉及膨化玉米粉的营养水平见表 2。

表 1　粉状浓缩料组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the powder concentrated diet (DM basis)　　%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels	含量 Content
麸皮 Wheat bran	18	干物质 DM	90.17
次粉 Wheat midding	18	有机物 OM	86.02
大豆粕 Soybean meal	52	粗蛋白质 CP	24.13
碳酸氢钙 $CaHPO_4$	4	中性洗涤纤维 NDF	15.34
石粉 Limestone	2	酸性洗涤纤维 ADF	6.09
食盐 Salt	4	钙 Ca	1.66
预混料 Premix	2	磷 P	1.39
合计 Total	100		

表 2　苜蓿干草、粉碎玉米粉、蒸汽压片玉米粉及膨化玉米粉的营养水平（干物质基础）

Table 2　Nutrient levels of alfalfa hay, grinding corn meal, steam-flaked corn meal and extruded corn meal （DM basis）　%

项目 Items	苜蓿干草 Alfalfa hay	粉碎玉米粉 Grinding corn meal	蒸汽压片玉米粉 Steam-flaked corn meal	膨化玉米粉 Extruded corn meal
干物质 DM	90.28	88.61	94.31	93.32
有机物 OM	83.96	87.27	93.18	91.94
粗蛋白质 CP	9.02	7.61	8.19	8.26
中性洗涤纤维 NDF	49.52	9.73	9.92	9.82
酸性洗涤纤维 ADF	32.17	1.63	1.37	2.04

钙 Ca	0.73	0.02	0.02	0.02
磷 P	0.09	0.21	0.21	0.24

1.3 饲养管理

试验马匹为单槽架饲养，分别于每日 10:00、12:00、18:00 饲喂 0.1 kg 粉状浓缩料、0.5 kg 苜蓿干草及 0.1 kg 不同加工方式玉米粉，最后在 24:00 饲喂 2.0 kg 苜蓿干草。试验期间，马采食结束后赶至运动场自由活动、自由饮水。预试期前 1 天空腹称重、量取体尺；正试期间收集全天尿样、粪样及试验用粉状浓缩料和苜蓿干草，并在正试期第 7 天时采集血浆、空腹称重及量取体尺。

1.4 样品采集及数据获得

1.4.1 粪样的采集及处理

正试期内收集全天马驹粪便称总重并完全混匀，随机抓取粪样总重的 10%，放入已编号的样品袋中，自然风干后称重（风干重）。将试验马连续 7 d 自然风干的粪样混匀，取 1 kg 做好记录封存待测。

1.4.2 尿样采集及处理

正试期内收集全天马驹尿液并充分摇匀，用纱布滤去杂质，用量筒量取总体积并取 10%，加入 5%的浓硫酸后（固氮处理）存入塑料瓶，4 ℃保存并做好记录。将试验马连续 7 d 收集的尿样混匀，取 1 L 做好记录保存待测。

1.4.3 饲草料的采集及处理

在试验期内采集试验用粉状浓缩料、不同加工方式玉米粉和苜蓿干草，自然风干后粉碎后待测。

1.4.4 血浆的采集及处理

在正试期第 7 天第一次饲喂后 4 h 颈静脉采集血样约 10 mL 至肝素钠抗凝管中，1 500×*g* 离心 15 min，收集血浆于 1.5 mL Eppendorf 管中，-20 ℃冷藏待测。

1.4.5　称重及量取体尺

分别在预试期前 1 天和试验结束后次日清晨空腹称体重、量取体尺。

1.5　样品测定及方法

粉状浓缩料、苜蓿干草、粪便和尿液中干物质和有机物含量的测定均采用常用饲料分析方法进行测定，钙和磷含量分别采用邻甲酚酞比色法和钒钼酸铵比色法测定，总能采用 HR-15 氧弹式热量计测定，中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）采用美国 ANKOM 纤维分析仪进行测定，粗蛋白质（CP）含量采用德国 Elementar Analysen Systeme 快速定氮仪测定。

血浆中总蛋白（total protein，TP）、白蛋白（albumin，ALB）、尿素氮（urea nitrogen，UN）、葡萄糖（glucose，GLU）含量采用试剂盒测定，试剂盒购于中生北控生物科技股份有限公司，货号分别为 2090-2003、2074-2003、2102-2003、2085-2003。血浆中球蛋白含量为总蛋白含量与白蛋白含量的差值。

1.6　统计分析

试验结果均以平均值±标准差（mean±SD）表示。试验数据采用 SPSS 18.0 软件的单因素方差分析（one-way ANOVA）进行统计分析，采用 Duncan 法进行多重比较。

2　结果与分析

2.1　不同加工方式玉米粉对6月龄伊犁马营养物质消化性的影响

不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马营养物质消化性的影响见表 3。不同加工方式玉米粉对营养物质摄入量无显著影响（P＞0.05）。在营养物质消化量方面，干物质、有机物消化量均为试验III组＞试验Ⅱ组＞试验Ⅰ组＞对照组；试验III组干物质、有机物、粗蛋白质、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维消化量显著高于对照组（P＜0.05）；对照组、试验Ⅰ组、试验Ⅱ组间干物质、粗蛋白质、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维消化量差异不显著（P＞0.05）。就营

养物质消化率而言，各组间干物质、有机物、粗蛋白质消化率差异不显著（P>0.05）；而试验III组中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维消化率显著高于对照组（P<0.05）。

表 3　不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马营养物质消化性的影响(干物质基础)

Table 3　Effects of corn meals with different processing methods on nutrient digestion of 6-month-old *Yili* horses (DM basis, *n*=5)

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Trial group Ⅰ	试验 II 组 Trial group Ⅱ	试验III组 Trial group Ⅲ
干物质摄入量 DM intake/(kg/d)	3.71±0.26	3.72±0.31	3.72±0.33	3.73±0.22
干物质消化量 DM digestion/(kg/d)	2.55±0.02^{b}	2.59±0.05^{ab}	2.66±0.06^{ab}	2.70±0.0.11^{a}
干物质消化率 DM digestibility/%	68.68±0.56	69.90±1.14	71.43±1.18	72.53±3.17
有机物摄入量 OM intake/(kg/d)	3.38±0.18	3.45±0.27	3.47±0.25	3.49±0.33
有机物消化量 OM digestion/(kg/d)	2.38±0.07^{c}	2.43±0.04^{bc}	2.49±0.02^{b}	2.59±0.05^{a}
有机物消化率 OM digestibility/%	68.99±3.70	70.45±1.39	71.91±1.65	74.09±2.49
粗蛋白质摄入量 CP intake/(g/d)	467.39±29.36	467.51±25.04	468.97±35.01	469.71±33.12
粗蛋白质消化量 CP digestion/(g/d)	367.06±15.29^{b}	361.08±32.06^{b}	368.38±24.46^{b}	369.52±17.78^{a}
粗蛋白质消化率 CP digestibility/%	79.73±1.78	78.97±1.77	79.88±0.94	81.02±1.41
中性洗涤纤维摄入量 NDF intake/(kg/d)	1.81±0.15	1.83±0.26	1.84±0.31	1.83±0.21

中性洗涤纤维消化量 NDF digestion/(kg/d)	1.07±0.02[b]	1.06±0.27[b]	1.07±0.06[b]	1.14±0.26[a]
中性洗涤纤维消化率 NDF digestibility/%	59.19±0.47[b]	58.17±1.37[b]	58.64±1.36[b]	62.05±1.44[a]
酸性洗涤纤维摄入量 ADF intake/(kg/d)	1.29±0.15	1.30±0.18	1.29±0.11	1.29±0.25
酸性洗涤纤维消化量 ADF digestion/(kg/d)	0.65±0.02[b]	0.63±0.01[ab]	0.65±0.21[ab]	0.68±0.14[a]
酸性洗涤纤维消化率 ADF digestibility/%	50.84.±1.34[b]	49.33±0.96[ab]	50.73±1.65[ab]	52.88±1.12[a]

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不同大写字母表示差异极显著（P<0.01）。下表同。

In the same row, values with no or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference （P<0.01）. The same as below.

2.2 不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马能量、氮、钙、磷代谢的影响

不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马能量、氮、钙、磷代谢的影响见表 4。能量代谢方面，试验III组消化能、代谢能显著高于对照组、试验 I 组（P＜0.05），对照组、试验 I 组、试验 II 组之间差异不显著（P＞0.05）。就氮代谢而言，试验III组氮的沉积量和沉积率均显著高于对照组、试验 I 组、试验 II 组（P＜0.05），而对照组、试验 I 组、试验 II 组之间差异不显著（P＞0.05）。钙、磷的沉积量和沉积率也以试验III组为最高，其中钙的沉积量和沉积率显著高于试验 II 组（P＜0.05），而磷的沉积量和沉积率则显著高于对照组、试验 I 组（P＜0.05）。

表 4　不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马能量、氮、钙、磷代谢的影响(干物质基础)

Table 4　Effects of corn meals with different processing methods on E, N, Ca and P metabolism of 6-month-old *Yili* horses (DM basis, n=5)

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	试验Ⅲ组 Trial group Ⅲ
能量代谢 E metabolism				
摄入总能 GE intake/(MJ/d)	94.08±0.65	94.19±0.89	95.43±0.33	95.29±0.23
消化能 DE/(MJ/d)	62.16±2.12[b]	61.07±2.46[b]	63.46±3.07[ab]	68.16±3.19[a]
代谢能 ME/(MJ/d)	47.76±0.80[b]	46.18±1.49[b]	49.13±0.73[ab]	54.22±3.16[a]
氮代谢 N metabolism				
摄入氮 N intake/(g/d)	73.80±1.35	73.91±1.32	74.32±1.00	74.95±1.28
粪氮 Feces N/(g/d)	13.75±0.86	15.72±1.33	14.60±1.39	16.78±2.62
尿氮 Urine N/(g/d)	47.51±1.21	48.07±2.19	47.89±1.47	41.27±3.72
氮沉积量 N retention/(g/d)	12.91±0.52[b]	10.72±0.14[b]	11.82±1.85[b]	17.09±0.58[a]
氮沉积率 N retention rate/%	16.91±0.21[b]	14.41±0.64[b]	15.93±2.71[b]	22.75±0.67[a]
钙代谢 Ca metabolism				
摄入钙 Ca intake/(mg/d)	34.51±0.58	34.68±0.70	34.82±0.51	34.75±0.51
钙沉积量 Ca retention/(mg/d)	17.72±1.23[ab]	18.85±0.76[ab]	15.93±0.88[b]	20.56±2.58[a]
钙沉积率 Ca retention rate/%	51.38±2.07[ab]	53.59±1.30[ab]	45.39±2.52[b]	56.76±3.06[a]
磷代谢 P metabolism				
摄入磷 P intake/(mg/d)	7.69±0.67	7.72±0.56	7.75±0.48	7.78±0.67
磷沉积量 P retention/(mg/d)	3.58±0.34[bc]	3.14±0.19[c]	4.02±0.13[ab]	4.20±0.34[a]
磷沉积率 P retention rate/%	46.14±4.41[bc]	40.55±2.47[c]	51.89±1.33[ab]	53.35±0.43[a]

117 2.3 不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马血浆生化指标的影响

不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马血浆生化指标的影响见表 5。不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马各血浆生化指标均无显著影响（*P*＞0.05），但各试验组球蛋白、尿素氮含量均高于对照组，而葡萄糖含量则以试验 I 组为最高。

表 5　不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马血浆生化指标的影响

Table 5　Effects of corn meals with different processing methods on plasma biochemical indexes of 6-month-old *Yili* horses　(*n*=5)

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Trial group Ⅰ	试验 II 组 Trial group Ⅱ	试验III组 Trial group III
总蛋白 TP/(g/L)	62.76±4.10	59.96±7.44	60.38±4.85	59.77±4.77
白蛋白 ALB/(g/L)	17.77±4.76	16.37±4.39	15.59±3.89	18.19±3.93
球蛋白 GLB/(g/L)	41.80±4.59	42.13±5.00	44.79±3.62	43.97±4.00
尿素氮 UN/(mmol/L)	3.87±0.74	4.26±0.64	4.10±0.68	4.35±0.85
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	0.69±0.07	0.74±0.14	0.63±0.84	0.63±0.22

2.4　不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马生长发育的影响

不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马生长发育的影响见表 6。试验开始前，各组马匹体重相近，差异不显著(*P*＞0.05)；试验结束时各组马匹体重均有所增加，试验III组在试验期间的增重和平均日增重均高于其他各组，但差异不显著(*P*＞0.05)。试验结束时，各试验组马匹的体高、胸围、管围、体斜长均得到增加。各组间体高增加差异显著（*P*＜0.05），但以试验 II 组增加最多；就体斜长增加而言，试验III组增加最多，与其余各组相比差异显著（*P*＜0.05），同时试验 I 组体斜长增加显著高于对照组（*P*＜0.05）；试验 I 组胸围增加显著高于其他 3 组，对照组与试验III组间胸围增加不显著（*P*＞0.05），但二者均显著高于试验 II 组（*P*＜0.05）；试验III组管围增加显著低于其他各组（*P*＜0.05），其他各组间管围增加差异不显著（*P*＞0.05）。

表 6　不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马生长发育的影响

Table 6　Effects of corn meals with different processing methods on growth and development of 6-month-old *Yili* horses (*n*=5)

项目 Items		对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	试验III组 Trial group III
初始重 Initial weight/kg		103.60±13.88	106.40±14.31	106.40±9.73	104.00±9.48
末始重 Final weight/kg		115.00±16.71	120.00±11.31	118.50±5.51	117.25±3.94
增重 BWG/kg		10.67±1.15	11.00±1.41	10.50±1.30	12.00±1.00
平均日增重 ADG/(kg/d)		0.53±0.05	0.55±0.07	0.53±0.15	0.60±0.05
试验初 Initial/cm	体高 Body height	110.8±1.0[a]	108.8±4.8[b]	106.8±2.3[c]	110.3±2.9[a]
	体斜长 Body slanting length	98.3±3.5[a]	96.6±2.7[c]	93.0±3.1[d]	97.7±3.2[b]
	胸围 Chest measurement	107.5±4.3[b]	105.4±5.4[c]	107.2±4.5[b]	110.5±1.0[a]
	管围 Cannon circumference	13.0±0.8[b]	13.1±0.6[b]	13.5±0.4[b]	13.8±0.4[a]
试验末 Final/cm	体高 Body height	112.0±1.7[b]	110.2±4.9[c]	110.2±2.3[c]	113.5±2.4[a]
	体斜长 Body slanting length	102.0±6.2[b]	101.4±4.8[c]	97.4±6.0[d]	102.7±2.1[a]
	胸围 Chest measurement	111.1±3.3[b]	109.6±5.0[d]	109.9±4.3[c]	114.1±1.4[a]

	管围 Cannon circumference	13.3±0.6^{d}	13.4±0.6^{c}	13.8±0.6^{b}	14.1±0.4^{a}
增加 Increase/cm	体高 Body height	1.5±0.8^{c}	1.3±0.8^{d}	3.4±1.1^{a}	3.1±1.1^{b}
	体斜长 Body slanting length	3.6±0.7^{c}	4.8±0.9^{b}	3.4±0.8^{c}	5.0±1.1^{a}
	胸围 Chest measurement	3.6±0.7^{b}	4.2±1.0^{a}	2.7±0.5^{c}	3.6±0.4^{b}
	管围 Cannon circumference	0.3±0.1^{a}	0.3±0.0^{a}	0.3±0.1^{a}	0.2±0.0^{b}

3 讨 论

3.1 不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马营养物质消化性的影响

6月龄马驹处在快速生长阶段，单一的从饲草中汲取营养很难满足其生长需要，因此需要依靠饲料来补充营养。生长期的6月龄马驹，其各消化道器官均处于发育阶段，功能尚不健全[5]，对饲料的利用率有限，所以需要通过对饲料原料进行加工处理来改善利用率。玉米粉经过蒸汽压片、膨化处理后可使淀粉凝胶化，使淀粉分子间氢键断裂形成糊化淀粉，可显著提高玉米淀粉的消化利用率，其中蒸汽压片处理玉米粉可以使淀粉的消化率提高10%～20%[6]。周佳萍等[7]认为蒸汽压片和膨化处理可提高玉米粉在动物体内的消化率。Zinn等[8]证实，与粉碎玉米粉相比，蒸汽压片玉米粉在动物肠道中的表观消化率明显增加。Hale等[9]以舍饲牛为试验动物，分别饲喂含有不同比例蒸汽压片玉米粉的饲粮，结果表明提高蒸汽压片玉米粉的饲喂水平可显著提高奶牛饲粮中营养物质的表观消化率。王潇等[3]在断奶仔猪饲粮中分别添加20%、40%、60%的膨化玉米粉，结果发现，随膨化玉米粉添加量的增加，饲粮中营养物质的消化率呈增加趋势。

在本试验中，与饲喂粉碎玉米粉相比，6月龄伊犁马饲喂蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉可提高饲粮中干物质、有机物、粗蛋白质的消化量和消化率，且膨化玉米粉的效果较好，与上述前人的研究结果一致。这是由于玉米粉经过蒸汽压片和膨化处理后增加了消化道中酶与玉米粉接触的机会，从而提高了饲粮中营养物质的消化率。而将粉碎玉米粉与酶制剂同时饲喂给6月龄伊犁马时对饲粮中营养物质的消化率无显著影响，造成该结果的原因可能是本试验设定的酶制剂的添加剂量不足。此外，在本试验中虽然饲喂蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉可提高饲粮中营养物质的消化量及消化率，但前人研究表明马对饲粮中粗蛋白质、钙、磷的消化率分别为80%～90%、51%～69%、30%～55%[10]，本试验中钙、磷的消化率分别为45%～60%、40%～55%，与前人研究结果一致；而粗蛋白质的消化率在70%～80%之间，略微偏低，这可能是由于6月龄马胃肠道发育尚不成熟，消化酶分泌量较少，进而影响了饲粮中粗蛋白质的消化率。

3.2 不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马能量、氮、钙、磷代谢的影响

玉米粉经蒸汽压片、膨化后蛋白质结构发生变化，有利于动物胃肠道对蛋白质的消化吸收[11]，从而提高机体对蛋白质的利用率。Herkelman 等[12]研究表明膨化玉米粉能提高猪饲粮中消化能和代谢能。Fan 等[13]报道给仔猪饲喂膨化玉米粉可使饲粮的消化能提高 8.1%。在本试验中，饲喂蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉可提高 6 月龄伊犁马饲粮的消化能和代谢能，但仅膨化玉米粉的提高效果达到显著水平。

Guyton 等[4]证实，用蒸汽压片玉米粉饲喂舍饲牛可降低排粪量和排尿量，粪氮和尿氮排出量增加，但是总排出氨量减少，氨氮浓度降低。在本试验中，与饲喂粉碎玉米粉相比，6 月龄伊犁马饲喂含酶制剂的粉碎玉米粉后粪氮、尿氮排出量及氮沉积率无显著变化；饲喂蒸汽压片玉米粉后粪氮、尿氮排出量有所增加，但氮沉积率无显著变化；而饲喂膨化玉米粉后粪氮排出量有所降低，氮沉积率显著增加，这可能与氮的摄入量和氨的消化利用率提高有关。

Glenn等[14]研究表明，使用高湿玉米粉代替粉碎玉米粉，使磷的摄入量保持一致，排出量粪磷的含量有所降低。Guyton等[4]使用蒸汽压片玉米粉饲喂奶牛，磷的排泄量低于粉碎玉米粉组。在本试验中，饲喂含酶制剂的粉碎玉米粉和膨化玉米粉可提高6月龄伊犁马的钙沉积率，而饲喂蒸汽压片玉米粉时钙沉积率有所降低，这可能与饲料物理性状、试验马匹的生理状态有关。在磷代谢方面，与粉碎玉米粉相比，饲喂蒸汽压片玉米粉和膨化玉米粉后6月龄伊犁马的磷沉积量有所增加，这与Glenn等[14]的研究结果一致；而饲喂含酶制剂的粉碎玉米粉时磷沉积量有所降低，导致这种结果的原因有待于进一步研究。

3.3 不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马血浆生化指标的影响

在动物饲粮中使用蒸汽压片玉米粉和膨化玉米粉可增加饲粮中营养物质的消化效率，改善能氮平衡。李福昌等[15]证实，在肉牛饲粮中添加不同水平的熟玉米淀粉，随着过瘤胃淀粉含量的增加，血浆葡萄糖含量增加。王桂瑛等[16]分别在云南黄牛饲粮中添加粉碎玉米粉、粉碎蒸汽玉米粉、干碾压玉米粉、湿碾压玉米粉、蒸汽压片玉米粉，结果表明饲喂蒸汽压片玉米粉可显著增加血浆葡萄糖含量，同时使尿素氮含量降低。在本试验中，与饲喂粉碎玉米粉相比，饲喂含酶制剂的粉碎玉米粉、蒸汽压片玉米粉及膨化玉米粉对 6 月龄伊犁马血浆中总蛋白、白蛋白、球蛋白、葡萄糖和尿素氮含量无显著影响，可能是由于本试验中蒸汽压片玉米粉和膨化玉米粉的饲喂量较低，对试验动物血浆中上述指标的影响不大。

3.4 不同加工方式玉米粉对 6 月龄伊犁马生长发育的影响

关于蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉对动物生长发育影响的报道较多。Ramirez 等[17]的结果表明蒸汽压片玉米粉可增加肉牛的平均日增重，降低料重比。冯占雨等[18]认为膨化玉米粉可使早期断奶仔猪平均日增重提高 8%，平均日采食量增加 6.93%，显著降低腹泻率。以犊牛为试验动物，饲喂蒸汽压片玉米粉和膨化大豆混合精料后，犊牛的日增重和眼肌面积显著高于对照组[19]。Campbell 等[20]研究报道，在饲粮中添加酶制剂可以使饲料蛋白质的吸收率提高 21%。在本试验中，与饲喂粉碎玉米粉相比，饲喂含酶制剂的粉碎玉米粉和膨化玉

米粉后 6 月龄伊犁马的平均日增重有所升高，并与营养物质消化率结果一致；而饲喂含蒸汽压片玉米粉对 6 月龄伊犁马增重无显著影响。

体尺是衡量马生长发育水平的重要指标。孟军[21]认为伊犁马发育较早的是体高，其次是体斜长，最后是胸围。在本试验中，与饲喂粉碎玉米粉相比，饲喂含酶制剂的粉碎玉米粉对 6 月龄伊犁马体斜长和胸围增加有一定的促进作用，饲喂蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉对 6 月龄伊犁马体高、体斜长及胸围的增加有促进作用，这与蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉可提高饲粮中钙、磷消化率的结果相符合，同时也与孟军[21]的研究结果相一致。

4 结 论

饲喂膨化玉米粉可提高饲粮中干物质、有机物、粗蛋白质的消化率，增加钙、磷的沉积率，促进 6 月龄伊犁马的生长发育；而饲喂含酶制剂的粉碎玉米粉或蒸汽压片玉米粉对 6 月龄伊犁马的营养物质表观消化率及生长发育无显著促进作用。

参考文献：

[1] 徐艳霞,李旭业,王晓春,等.建国以来我国玉米育种技术的发展与成就[J].黑龙江农业科学,2009(6):165–168.

[2] 刘梅英,熊先安,宗力.饲料加工对营养影响的研究[J].粮食与饲料工业,2000(1):24–26.

[3] 王潇,何瑞国,张文静.不同添加量的膨化玉米对断奶仔猪的生长性能和养分消化率的影响[J].饲料工业,2005,26(23):24–26.

[4] GUYTON A D,MCKINNEY J M,KNOWLTON K F.The effect of steam-flaked or dry ground corn and supplemental phytic acid on phosphorus partitioning and ruminal phytase activity in lactating cows[J].Journal of Dairy Science,2003,86(12):3972–3982.

[5] GLADE M J.Nutrition and performance of racing Thoroughbreds[J].Equine Veterinary Journal,1983,15(1):31–36.

[6] 唐志高,祱梅,赵小刚.日粮中添加膨化玉米对仔猪生长性能的影响[J]中国畜牧兽医,2009,36(2):39–41.

[7] 周佳萍,杨在宾.饲料加工处理与营养物质利用率关系研究和应用技术进展[C]//2007山东饲料科学技术交流大会论文集.泰安:畜牧兽医学会,2007.

[8] ZINN R A,ADAM C F,TAMAYO M S.Interaction of feed intake level on comparative ruminal and total tract digestion of dry-rolled and steam-flaked corn[J].Journal of Animal Science,1995,73(5):1239–1245.

[9] HALE W H,CUITUN L,SABA W J,et al.Effect of steam processing and flaking milo and barley on performance and digestion by steers[J].Journal of Animal Science,1966,25(2):392–396.

[10] SCHRYVER H F,PARKER M T,DANILUK P D,et al.Salt consumption and the effect of salt on mineral metabolism in horses[J].The Cornell Veterinarian,1987,77(2):122–131.

[11] SANTOS J E P,HUBER J T,THEURER C B,et al.Response of lactating dairy cows to steam-flaked sorghum,steam-flaked corn,or steam-rolled corn and protein sources of differing degradability[J].Journal of Dairy Science,1999,82(4):728–737.

[12] HERKELMAN K L,RODHOUSE S L,VEUM T L,et al.Effect of extrusion on the ileal and fecal digestibilities of lysine in yellow corn in diets for young pigs[J].Journal of Animal Science,1990,68(8):2414–2424.

[13] FAN M Z,SAUER W C,HARDIN R T,et al.Determination of apparent ileal amino acid digestibility in pigs:effect of dietary amino acid level[J].Journal Animal Science,1994,72(11):2851–2859.

[14] GLENN B P,DAWSON T E,LEFEOURT A M,et al.Effect of lever of high moisture corn in alfalfa-based rations on starch digestion by mid lactation cows[J].Journal of Animal Science,1998,76:336.

[15] 李福昌,冯仰廉,莫放,等.熟玉米淀粉的消化率及其对肉牛氮沉积和血糖浓度的影响[J].中国农业大学学报,1998,3(增刊):167–171.

[16] 王桂瑛,毛华明,文际坤.不同处理玉米日粮对黄牛血液指标的影响及相关性分析[J]饲料工业,2010,31(5):27–30.

[17] RAMIREZ R G,KIESLING H E,GALYEAN M L,et al.Influence of steam-flaked,steamed-whole or whole shelled corn on performance and digestion in beef steers[J].Journal of Animal Science,1985,61(1):1–8.

[18] 冯占雨,闫轶洁,张天荣,等.教槽料中使用不同原料组合对仔猪生产性能和健康状况的影响[J].中国饲料,2011(3):7–11.

[19] 刘萍,孟庆翔,解祥学,等.蒸汽压片玉米及膨化大豆对奶公犊生长和屠宰性能的影响[J].中国农业大学学报,2013,18(2):124–129.

[20] CAMPBELL G L,BEDFORD M R.Enzyme applications for monogastric feeds:a review[J].Canadian Journal of Animal Science,1992,72(3):449–466.

[21] 孟军.昭苏马场伊犁马杂交改良效果初步研究[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2010.

Effects of Corn Meals with Different Processing Methods on Nutrient Digestion and Metabolism, Plasma Biochemical Indexes, Growth and Development of 6-Month-Old *Yili* Horses

YANG Jingtao ZHAO Fang DENG Haifeng LI Xiaobin YANG Kailun

(*Xinjiang Agriculture University, Xinjiang Key Laboratory of Meat & Milk Production Herbivore Nutrition, Urumqi* 830052, *China*)

Abstract: This experiment aimed to study the effects of corn meals with different processing methods on nutrient digestion and metabolism, plasma biochemical indexes, growth and development of 6-month-old *Yili* horse, and provided a reference for the application of steam-flaked corn meal and extruded corn meal in horses' diets. Twenty healthy *Yili* male horses with the age of 6 months old and the average body weight of (105.10±11.83) kg were randomly divided into 4 groups, and each group had 5 horses. Each horse was fed 0.3 kg powder concentrated diet and 3.5 kg alfalfa per day. Besides, each of horse in control group, trial groups Ⅰ, Ⅱ and Ⅲ was fed with 0.3 kg grinding corn meal, 0.3 kg grinding corn meal+1 g α-amylase, 0.3 kg steam-flaked corn meal, and 0.3 kg extruded corn meal, respectively. The digestion and metabolism experiment lasted for 20 d comprised a 13 d adaptation and 7 d trial period. The result showed that the digestion of dry matter （DM）, organic material (OM), crude protein （CP）, neutral detergent fiber(NDF) and acid detergent fiber (ADF), and the digestibility of NDF and ADF in trial group Ⅲ were significantly higher than those in control group ($P<0.05$). The retention rates of nitrogen (N), calcium (Ca), phosphorus (P) in trial group Ⅲ were significantly higher than those in control group and trial group Ⅰ ($P<0.05$). The metabolic energy (ME) and digestible energy (DE) in trial group Ⅲ were significantly higher than those in control group and trial group Ⅰ ($P<0.05$), while there were no significant differences among control group and trial groups Ⅰ, Ⅱ （$P>0.05$）. The body weight gain (BWG) and average daily gain (ADG) in trial group Ⅲ was higher than other groups, but the differences were not significant （$P>0.05$）. In aspect of body length increase, the trial group Ⅲ was significantly higher than other groups ($P<0.05$). The chest measurement increase in trail group Ⅱ was significantly higher than that in other three groups ($P<0.05$), but there were no significant differences in plasma biochemical indexes among groups （$P>0.05$）. Therefore, feeding extruded corn meal can improve the apparent digestibility of dietary nutrients, increase the energy metabolism and promote the growth and development of 6-month-old *Yili* horses, but feeding grinding corn meal containing enzyme preparation or steam-flaked corn meal has no significant promoting effects on the nutrient apparent digestibility and the growth and development of 6-month-old *Yili* horses.

Key words: corn meal; processing method; 6-month-old *Yili* horses; digestion and metabolism; plasma biochemical indexes; growth and development

---

*Corresponding author, professor, E-mail： yangkailun2002@aliyun.com (责任编辑 菅景颖)